ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛИГОНОВ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ КАК ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Иван Иванович Подлипский
Старший преподаватель кафедры Экологической геологии СПбГУ, ИноЗ
Главный эколог ООО «ЛенСтройГеология»
primass@inbox.ru

Аннотация:
Использование методик для изучения динамических и статических характеристик масс смешанного бытового мусора на полигонах ТБО, разработанных и применяемых для исследования геологических объектов, позволяет получать сопоставимые данные и использовать их для разработки рекомендаций по строительству, эксплуатации и рекультивации

Ключевые слова:
твердые бытовые отходы, полигон, биогаз, фильтрат, экологическая геология

Podlipskiy I. The landfill of a household waste as objects of geological research

The general description of properties and structure of solid domestic wastes as a multicomponent system and changes occurring in them with the help of traditional methods of geological object study is presented. Special attention is paid to characteristic of biological components of sanitary soils.
The description of the influence estimation results of solid domestic wastes on the components of nature environment (soil and plants) is given.

Keywords: municipal solid waste, landfill, leakade, leachate, ecological geology

Введение

Одной из важнейших для России экологической проблемой является проблема обращения с отходами потребления и производства. Главной целью государства, в области управления отходами, в настоящее время, является устранение слабых звеньев в цепи удаления, переработки и захоронения мусора, предотвращение несанкционированного размещения и стимулирование вторичного рынка отходов.
В РФ накопилось 80 млрд. т. твердых бытовых отходов (ТБО), а также ежегодно прибавляется около 30 млн. т. бытового и 120 млн. т. промышленного мусора. Общая площадь занятых отбросами земель в целом по стране превышает 2 тыс. км^2. Только в Санкт-Петербурге в результате хозяйственной деятельности ежегодно образуется около 6 млн. м^3 отходов: бытовых и промышленных [1], в связи с активным ростом экономики, через 5-6 лет этот объем увеличится еще в 2 раза. Из них примерно 60% образуется в домовладениях, остальная часть - это коммерческие отходы (малый бизнес, торговля, строительные и промышленные предприятия и организации). Бытовые отходы в Санкт-Петербурге вывозятся на три обустроенных полигона (70%) и заводы по механизированной переработке МПБО-1 и МПБО-2 (примерно 30%) [2].
Федеральный классификационный каталог, вступивший в действие с сентября 2003 года Приказом МПР РФ от 02.12.2002 №786, относит «несортированные отходы от жилищ», а также «несортированный мусор от бытовых помещений организаций» к четвертому классу опасности. Однако, согласно нашей оценке, в составе ТБО Санкт-

Петербурга содержится не менее 6% фракций, относимых к более высоким классам опасности. Количество опасных фракций, содержащих ртуть, соединения других тяжелых металлов, хлорорганические и иные токсиканты, в общем объеме этих ТБО составляет не менее 70 тыс. т..

В Ленинградской области насчитывается около 200 постоянно эксплуатируемых мест размещения отходов 4 и 5-го классов опасности. Однако, только 12 полигонов (3 полигона во Всеволожском районе, 2 полигона в Гатчинском районе и по одному полигону в Бокситогорском, Волховском, Выборгском. Киришском, Ломоносовском, Лужском и Тосненском районах) из общего количества, удовлетворяет существующим природоохранным требованиям [3].

Состав свалочных грунтов

Согласно ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения» [4] к ***отходам потребления*** относят «остатки веществ, материалов, предметов, изделий, товаров, частично или полностью утративших свои первоначальные потребительские свойства». Там же отмечается, что к этой категории отходов следует относить не только ТБО, образующиеся в домовладениях, «но и отходы, образующиеся в офисах, торговых предприятиях, мелких промышленных объектах, школах, больницах, других муниципальных учреждениях». Такое определение соответствует зарубежному термину «твердые муниципальные отходы» (Municipal solid waste). Юридической основой для классификации ТБО в России служит Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО), который классифицирует отходы по происхождению, агрегатному состоянию и опасности, используя термин «твердые коммунальные отходы» [5].

Бытовой мусор на полигоне представляют собой сложную, практически однородную, многофазную гетерогенную систему (техногенный свалочный грунт), состоящую из твердой (пластик, металлы, бытовые приборы и их части и т.д.), жидкой (продукты гидролиза, атмосферные осадки, отжимная жидкость – «фильтрат») и газовой (продукты биохимического и химического разложения органоминеральной массы) компонент, а также биотической (живой) составляющей.

Проведя сопоставление с классическим (геологическим) определением понятия «грунт» (любые горные породы, почвы, осадки и антропогенные геологические образования, рассматриваемые как многокомпонентные динамические системы) [6], можно сделать вывод, что с содержательной и логической точек зрения смешанные ТБО представляют собой современный геологический объект антропогенного происхождения, состоящий из техногенного грунта.

Основываясь на вышесказанном, изучение тела полигона можно проводить по методам и приемам, разработанным в рамках дисциплин геологического, инженерно-геологического, гидрогеологического и т.д. циклов, как компонента геологических условий – отдельного геологического тела, оказывающего влияние на экологическое состояние окружающей природной среды.

Изучение любого геологического тела (четко ограниченной части земной коры, сложенной одной горной породой или комплексом пород одного происхождения и близкого возраста) [7] можно проводить двумя способами: по составу (твердая, жидкая, газообразная и биологическая компонента) и по функциональной характеристике грунта (компрессия, водопроницаемость, стратиграфия и т.д.), но только с учетом этих двух подходов описание будет полным и всесторонним.

Твердая компонента свалочного грунта

Полигоны бытовых отходов на стадии рекультивации (после окончания срока активного приема мусора) представляют собой тела неправильной формы, частично находящиеся ниже поверхности окружающего грунта и имеющие объемы от сотен тысяч до десятков миллионов кубических метров.

Для определения особенностей (химических и физических свойств) свалочного грунта полигонов ТБО, в 2006 – 2009 г. было проведено обследование трех объектов Санкт-Петербурга и Ленинградской области: полигоны «Новый Свет ЭКО» Гатчинский район, «Спецавтотранс» Тосненский район и полигон города Кронштадт.

Твердая компонента, входящая в состав свалочного грунта, очень неоднородна (табл. 1). На качественный и количественный состав твердых веществ оказывают влияние несколько основных факторов: государство (политика обращения с отходами в разных странах различна), место образования (экологическое образование людей и тип производства), время года и т.д. В рамках проведенных исследований было произведено натурное исследование и сопоставление с литературными данными. Отбор и анализ состава проб свалочного грунта производился согласно методике [8].

Таблица 1. Морфологический состав твердой компоненты свалочного грунта по различным районам исследования и по литературным данным (по массе, %)

Наименование компонент свалочных грунтов	**Москва [9]**	**«Новый Свет ЭКО» Гатчинский район**	**«Спецавтотранс» Тосненский район**	**Смоленск [10]**	**Смоленский район (2005)**
1.Пищевые отходы	30-40	23,07	22,5	26–32	30-35
2.Бумага, картон	36-39	21,22	32,5	33-40	25-37
3.Дерево	1-2	3,3	3,5	1,5-5	-
4.Черный металл	3-4	5,8	3,5	2,5-3,6	4,5
5.Цветной металл	0,5-1,5	0,2	3	0,4-0,6	0,5
6.Текстиль	3-5	6,21	4	4,6-6,5	2-3
7.Кости	1-2	1,5	-	0,9-0,5	-
8.Стекло	2-3	8,9	6,5	2,7-4,3	6-9
9.Кожа, резина	0,5-1	Кожа-1 Резина - 2	1	0,5-1,3	-
10.Полимеры	4-5	5,5	12,5	4,6-6,0	8-12
11.Прочее	1-2	1,7	1,5	-	строй. отходы - 2
12.Отсев менее 15 мм	5-7	11,5	9,5	8,5-11,2	10-12
13.Камень, сад	0,5-1	1	-	0,7-1,0	-

Таким образом, твердые вещества свалочного грунта представлены как неорганическими так и органическими веществами. Исследования химического состава неорганической субстанции (без металлов) массы свалочного грунта показали следующие результаты (табл. 2):

Таблица 2. Состав неорганической части свалочных грунтов (без металлов) (полигон «Новый Свет ЭКО», Гатчинский район).

Наименование компонента	Содержание, % по массе	Наименование компонента	Содержание, % по массе
SiO_2	19,1 – 27,6	K_2O	1,5 – 1,8
Al_2O_3	2,6 – 3,0	P_2O_5	9,8 – 11,0
Fe_2O_3	0,6 – 1,5	CO_2	5 – 6,2
CaO	38,6 – 40,7	SO_3	0,5 – 1,0
MgO	6,8 – 7,8	Прочие	1,0 – 1,4
Na_2O	6,0 – 6,5		

Состав органических компонентов в техногенных свалочных грунтах разнообразен и сложен. Принципиальное отличие этих грунтов от природных состоит в том, что органические компоненты, как правило, находятся в неразложившемся или не полностью разложившемся состоянии. Часть из них, содержащая органику органического происхождения (древесина, макулатура и т.д.), относительно быстро разлагается и гумифицируется, а другая часть практически стабильна. Из общего объема отходов в свалочных грунтах на долю органических компонентов приходится около 50-60% (иногда до 90%).

Органическое вещество и его превращение в свалочных грунтах играет важную и разностороннюю роль в генезисе и формировании основных свойств и характеристик эмиссионных продуктов полигонов. Изучение его состава, свойств, процессов трансформации позволяет разработать методику максимально эффективного управления полигоном ТБО.

Нашими исследованиями установлено, что органическая субстанция свалочных грунтов исследуемых полигонов Ленинградской области состоит из следующих веществ (табл. 3). Аналитические работы проводились по методике, представленной в работах [6, 8, 11], а также проводилось сопоставление с литературными данными, полученными другими учеными [12]

Таблица 3. Химический состав органической части свалочного грунта (полигон «Новый Свет ЭКО», Гатчинский район)

№	Наименование компонента	Содержание (% по массе)
1	Углеводы	65,0 – 69,8
2	Белки	8,0 – 9,6
3	Жиры (триглициды и технические масла)	6,0 – 7,4
4	Полимеры	8,0 – 9,0
5	Прочие	8,2 – 9,0

Для раскрытия особенностей биогеохимических процессов разложения, физико-химического преобразования и минерализации органической части свалочного грунта необходимо в составе смешанных отходов полигонов определять количество и соотношение по массе и по объему следующих групп органических веществ:

1. активное органическое вещество (способное служить питательной средой):

- легко биодеградируемые (по классификациям, принятым в почвоведении – «лабильные» или «мобильные») вещества. Быстрее и легче всего разлагаются водорастворимые вещества: глюкоза, сахароза и аминокислоты, а также протеины [13]);

- трудно биодеградируемые (в почвоведении – «стабильные») вещества (жиры, лигнин, пектин, целлюлоза, гемицеллюлоза, дубильные вещества, искусственные полимеры и т.д.).

2. пассивное органическое вещество (не представляющее питательной ценности для микроорганизмов):

- балластные фракции (практически неразложимые вещества, ингибиторы биохимического разложения и т.д.).

Количественное определение описанных групп веществ в свалочных грунтах может быть одним из следующих этапов наших исследований.

Гранулометрический состав[1] является важным физическим параметром, от которого зависят многие аспекты существования и функционирования свалочного грунта.

Таблица 4. Фракционный состав бытового мусора (%, по массе) [8]

Наименование места образования свалочного грунта	**Остаток на сите при размере ячеек, выраженных в мм**								
	<300	**300-250**	**250-200**	**200-150**	**150-100**	**100-50**	**50-30**	**30-20**	**>20**
Санкт-Петербург	---	3,05	3,36	6,34	17,25	27,15	14,01	8,02	20,82
Ленинградская область	---	---	1,40	6,70	19,60	23,70	10,30	17,60	20,70

Преобладание частиц среднего (диаметр сита 150-50 мм) и мелкого размера (диаметр сита менее 20 мм), составляющих более половины (около 60%) массы свалочного грунта, позволяет сделать заключение о определенной степени однородности смешанного мусора.

Сточки зрения стратиграфии, полигон ТБО, при правильной эксплуатации (в соответствии с нормативными законодательными актами) представляет собой постоянно переслаивающийся грунт – смешанные бытовые отходы (1-1,5 м) и материал «пересыпки» (<0,2 м), состоящий из местного суглинка или инертного строительного мусора.

Образования геологических тел такого типа происходит продолжительное время (десятки лет), процесс осадконакопления идет постепенно за счет привоза новых объемов отходов и пересыпки их инертным грунтом, часто представляющим локальные водоупоры. Скорость увеличения объемов отложений (см в год) зависит в основном от интенсивности и площади складирования, а также от состава твердой компоненты свалочного грунта (в случае содержания большого количества органических веществ, увеличение мощности горизонтов незначительно по причинам быстрого аэробного биохимического разложения материала) и составляет в среднем от десятков сантиметров до нескольких метров.

Процесс осадконакопления идет по пути осадочной интеграции, который, в природных условиях, приводит к образованию полиминеральных пород, слагающихся как разнородными обломочными компонентами, так и биогенными и хемогенными образованиями.

Литогенез грунтов полигонов ТБО можно сопоставить с формированием природной осадочной породы и выделить следующие этапы [14]:

[1] В литературных источниках при характеристики гранулометрического состава твердой компоненты свалочного грунта применяется термин – фракционный состав.

- образование осадочного материала (образование отходов у потребителя);
- перенос осадочного материала (перевозка мусора от потребителя к месту захоронения);
- седиментогенез – накопление осадка (складирование на полигоне);
- диагенез – преобразование осадка в осадочную горную породу (процессы биогеохимической трансформации органоминерального вещества полигона ТБО).

Во время диагенеза происходит уплотнение осадка под тяжестью образующихся выше него слоев и обезвоживание. Взаимодействие составных частей осадка между собой и окружающей средой приводит к растворению и удалению неустойчивых компонентов осадка и формированию устойчивых новообразований. К концу диагенеза жизнедеятельность бактерий и других организмов почти полностью прекращается, а система осадок - среда приходит в равновесие.

Как и любой природный геологический объект, тело полигона подвергается действию эрозионных процессов, приводящих к образованию ореолов рассеивания твердых компонент свалочного грунта и вызывающих загрязнение окружающих природных эколого-геологических систем.

Газообразная компонента свалочного грунта

Газы, содержащиеся в грунтах можно разделить на три генетические типа: геологические, атмосферные и биологические. Газы первой группы образуются за счет собственно геологических процессов (экзогенных и эндогенных); второй – в основном за счет газообмена с атмосферой; третьей – за счет жизнедеятельности организмов в грунтах.

Газовая компонента свалочного грунта формируется, в основном, за счет газов, являющихся продуктом жизнедеятельности живых организмов (в основном микроорганизмов) и относится, таким образом, к биологическому генетическому типу (биогаз). Важно отметить тот факт, что формирование газового компонента данного типа грунтов начинается в момент собственно образования свалочных масс на полигоне (сингенетический газ).

Газы свалочных грунтов являются весьма подвижными компонентами, они легко попадают в атмосферный воздух в результате перепада давлений по порам и трещинам грунта, а также за счет отжатия при уплотнении пород.

Состав биогаза может насчитывать около 50 примесей (в основном H_2O, CO_2 и NO_2), основным компонентом является метан (содержание 60–97%) – один из основных парниковых газов (табл. 8).

Таблица 8. Усредненный морфологический состав обезвоженной газовой компоненты свалочного грунта [15]

Наименование вещества	Выброс, %	Наименование вещества	Выброс, %
Диоксид азота	***0,6***	Пропан	0,02
Аммиак	***0,33***	Сажа	0,09
Ангидрид сернистый	0,04	Сероводород	0,06
Декан	0,02	Трихлорфторметан	0,01
Дихлордифторметан	0,02	Углеводороды	0,09
Дихлорэтан	0,04	***Диоксид углерода***	***1,01***
Изопропилбензол	0,01	Хлор (общ.)	0,01
Метан	***97,39***	Хлорэтан	0,04

Метилбензол	0,08	Эстен	0,01
Нонан	0,06	Этан	0,01
О-крезол	***0,1***	Этилбензол	0,03

Полигоны свалочного грунта, после десяти лет функционирования (начало метаногенной стадии разложения), можно считать техногенными месторождениями горючего газа [16].

При правильной организации сбора свалочного газа, из 1 тонны свалочного грунта за 10-20 лет можно получить 120-250 м^3 газа. По данным химического исследования свалочного грунта на полигонах Ленинградской области («Новый Свет ЭКО» Гатчинский район, «Спецавтотранс» Тосненский район) была оценена потенциальная газопродуктивность масс смешанного мусора по модернизированной формуле Т.А. Карюхиной [17], описанной в Методике расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов ТБ и ПО [18]:

$$Q = 10^{-6} R(100 - W)(0{,}92Ж + 0{,}62У + 0{,}34Б)$$

где: Q – удельный выход биогаза за период его активной генерации, кг/кг отходов;

R – содержание органической составляющей в отходах, %;

W – фактическая влажность отходов, %;

Ж, У, Б – содержание жироподобных, углеводоподобных и белковоподобных веществ в органике отходов, %.

Таким образом, максимально возможный выхода газа для свалочного грунта Ленинградской области (усредненного состава) - 280-300 м^3 на тонну размещенных ТБО [19]. Увеличение параметра газопродуктивности, на исследуемых объекта, связано с частичным селективным разбором отходов на станциях перегрузки и увеличения, вследствие этого, доли органической компоненты в массе свалочного грунта.

Биотическая составляющая грунтов

Основы учения о роли живого вещества в миграции химических элементов в зоне гипергенеза были заложены В.И. Вернадским. Под живым веществом он понимал всю совокупность живых организмов, их общую массу, воздействующую на окружающую среду. Общая масса живого вещества во много раз меньше массы грунтов, но это вещество постоянно образуется из неорганических соединений земной коры и вновь разрушается, вследствие чего через него проходит огромное количество атомов химических элементов [20].

К биотической составляющей грунтов относятся живые организмы различных таксонов, для которых грунты служат временной или постоянной средой обитания [6]. Согласно настоящей трактовке, живое вещество полигонов ТБО использует свалочный грунт в качестве постоянной среды обитания, так как система «грунт - смешанные бытовые отходы – биота» является нестабильным концентратом энергии (химических связей органических веществ) и долгое время самостоятельно существовать не может. Биоценоз полигона ТБО по особенностям энергетических связей с окружающей средой можно сравнить с глубоководными системами морей и океанов, на прямую зависящих от поступления органических остатков («трупного дождя») из других зон моря.

Описанная разновидность природных биоценозов существуют относительно непродолжительное время на определенной строго ограниченной (размером пищевого ресурса) территории, но при этом, оказывает огромное влияние на состояние окружающего биотопа во время активного функционирования и после затухания биолого-энергетических процессов. Основным отличием глубоководных биоценозов от биотической компоненты свалочного грунта состоит в том, что полигоны бытовых

отходов активно развиваются более продолжительное время, так даже после прекращения поступления новых порций питательных веществ (рекультивации) – превращения в закрытую энергетическую систему – полигоны активно продуцируют различные вещества в течении десятков и сотен лет.

Процесс разрушения органических веществ – процесс минерализации - заключается в разложении органических веществ с выделением углекислого и других газов, воды и минеральных солей. Минерализация в биосфере осуществляется исключительно интенсивно; ее совершают различные организмы, главными среди них являются микроорганизмы.

В грунтоведении и в инженерной геологии биоту условно делят на макроорганизмы (видимые невооруженным глазом) и микроорганизмы, основываясь на их роли, количественном и массовом содержании.

К макроорганизмам свалочных грунтов полигонов Ленинградской области можно отнести различные (главным образом высшие) растения, грибы и многоклеточные животные. Число видов растений, произрастающих на свалочных грунтах в умеренных широтах России, составляет порядка нескольких десятков. Основными среди них являются экологические группы факультативных рудеральных[2] (сорных) растений и олиготрофов (мать-и-мачеха обыкновенная (Tussilago farfara L.), полынь горькая (Artemisia absinthium L.), полынь обыкновенная (Artemisia vulgaris L.), горец птичий (Polygonum aviculare L.) и т.д.) [21]. Роль растений в биоценозе активно функционирующего полигона невелика, но после биологической рекультивации травянистый покров становится важным звеном энергетического и вещественного обмена.

Среди макроорганизмов огромная роль принадлежит представителям отдельного царства – грибам – гетеротрофным эукариотам, питающимся осмотрофно и сочетающим в себе признаки растений (наличие хорошо выраженной клеточной стенки; неподвижность в вегетативном состоянии; размножение спорами; способность к синтезу витаминов; поглощение пищи путем всасывания (адсорбции)) и животных (гетеротрофность; наличие в составе клеточной стенки хитина, характерного для наружного скелета членистоногих; отсутствие в клетках хлоропластов и фотосинтезирующих пигментов; накопление гликогена как запасного вещества; образование и выделение продукта метаболизма - мочевины). Совместно с бактериями, грибы – основные редуценты (но в несколько раз более эффективные), разлагающие сложные органические соединения до более простых. Они управляют таким важнейшим природным явлением, как средообразование. В природных экосистемах почвенной подстилки около 70-90% биомассы микроорганизмов приходится на долю грибной массы (около 5 т/га) [21].

Основным экологическим отличием почвенной мукобиоты от бактериального сообщества является ограниченность благоприятных температурных условий существования (стенотермные организмы). В связи с этим грибы в свалочном грунте распространены лишь до глубины 2,5-3 м. и, кроме того, не могут существовать в зонах активного аэробного разложения (с повышенными температурами до 70-80˚С) [19]. Кроме того, наличие токсикантов в окружающей среде сказывается на различных характеристиках и всех уровнях организации грибов. Так концентрация тяжелых

---

[2] Рудера́льные расте́ния (от лат. rudus, родительный падеж ruderis - щебень, строительный мусор) - сорные растения, растущие на мусорных свалках, вдоль дорог. Рудеральные растения относят к синантропным организмам (от греч. σύν - вместе и греч. ἄνθροπος - человек) - животные (не одомашненные), растения и микроорганизмы, образ жизни которых связан с жизнедеятельностью человека.

металлов в большей степени чем почвенные условия определяет состояние сообщества грибов (сокращение видового разнообразия на 75% при загрязнении Zn и Cu) [22].
Среди животных в свалочных грунтах могут обитать как представители беспозвоночной так и позвоночной макрофауны, причем в отличии от почвенных условий, свалочный грунт характеризуются большей долей пустот (более 65%), высокой влажностью и более широким разнообразием условий в пределах единицы объема. Среди беспозвоночных широко распространены некоторые виды моллюсков (Helix pomatia), круглых (нематоды) и кольчатых червей (Nematodes, Annelida), панцирных клещей (орибатид), насекомых и их личинок (Locustella certhiola, Musca domestica), пресноводных ракообразных (мокрицы), многоножек (Lithobius forficatus) и др. Из позвоночных животных, использующих свалочные грунты в качестве кормовой базы, можно выделить несколько видов, относящихся к экологической группе синантропных – крысы (Rattus norvegicus), чайки (Larus canus) и т.д.
Суммарное количество биотической составляющей в различных грунта меняется в очень широких пределах и связано, в первую очередь, с пористостью (пустотностью). Общая биомасса организмов в почвах может достигать 0,1-1,5 т/га (сухой вес) [23]. Свалочные грунта, в связи с высокой пористостью и низкой плотностью, способны иметь значительную биомассу живой составляющей.
Микроорганизмы оказывают влияние на состав твердой, жидкой и газовой компонент грунтов. Они обуславливают разрушение минералов, их трансформацию (переход в другие), новообразование минералов, минерализацию, гумификацию и консервацию органики, изменение порового раствора, газогенерацию и газопотребление.
В свалочных грунтах микроорганизмы активно преобразуют твердые и жидкие органические компоненты грунта. По мере протекания деструкции происходит сукцессия видовых систем микроорганизмов, осуществляющих разложение в одном из трех направлений: минерализации, гумификации и консервации не полностью разложившихся остатков [24].
В массиве свалочного грунта микроорганизмы являются непосредственными или косвенными участниками всех сложных превращений: продукты разложения → фильтрат → биогаз → живое вещество.
Биохимические механизмы ферментации и разложения смешанной культуры (а именно такая культура и была обнаружена в свалочных грунтах) еще не вполне изучены. Эти процессы, протекающие в основном в бактериальной биомассе, включают конверсию сложных органических субстратов, таких, как полисахариды, липиды и белки, в метан и диоксид углерода. Это симбиотическое сообщество, благодаря тому, что оно может менять используемые им пути ферментации, функционирует как саморегулирующаяся система, поддерживающая значения pH, Eh и термодинамическое равновесие оптимальным для роста образом и, следовательно, обеспечивающая стабильность существования полигона.
Для традиционного типа полигона (постепенная загрузка) можно использовать модель периодического культивирования с повторным внесением посевного материала микроорганизмов и беспозвоночных [25].
Процесс разложения органической фракции свалочного грунта состоит из трех основных фаз (стадий), которые выделяются по пищевым потребностям преобладающей бактериальной популяции: гидролитическая, гетероацетогенная и метоногенная стадии [25].
Первая группа включает гидролитические бактерии, обычно называемые ацидогенными, так как они обеспечивают начальный гидролиз субстрата до низкомолекулярных органических кислот и других малых молекул. Вторая группа представляет собой гетероацетогенные бактерии, которые продуцируют уксусную

кислоту и водород, а третья – это метаногенные бактерии, которые продуцируют метан. Эта последняя группа может быть подразделена на потребителей водорода (литотрофы) и уксусной кислоты (ацетотрофы) (рис.). Субстраты, содержащие серу и азот, могут вызывать рост еще двух дополнительных групп сульфатредуцирующих бактерий и денитрификаторов.

По многочисленным причинам (токсичность продуктов разложения органических компонент, негативное санитарно-биологическое, социальное и др. воздействие) свалочные грунты являются потенциально экологически опасными и поэтому существуют на ограниченных (изолированных) территориях.

Жидкая компонента свалочного грунта

Жидкая компонента – важнейшая составная часть большинства грунтов как природного так и техногенного происхождения. Она является наиболее мобильной и экологически значимой в связи с тем, что может быть средой для переноса большого количества различных веществ (в том числе и поллютантов), а, кроме того, является результатом взаимодействия компонентов системы грунт – живое вещество – газ.

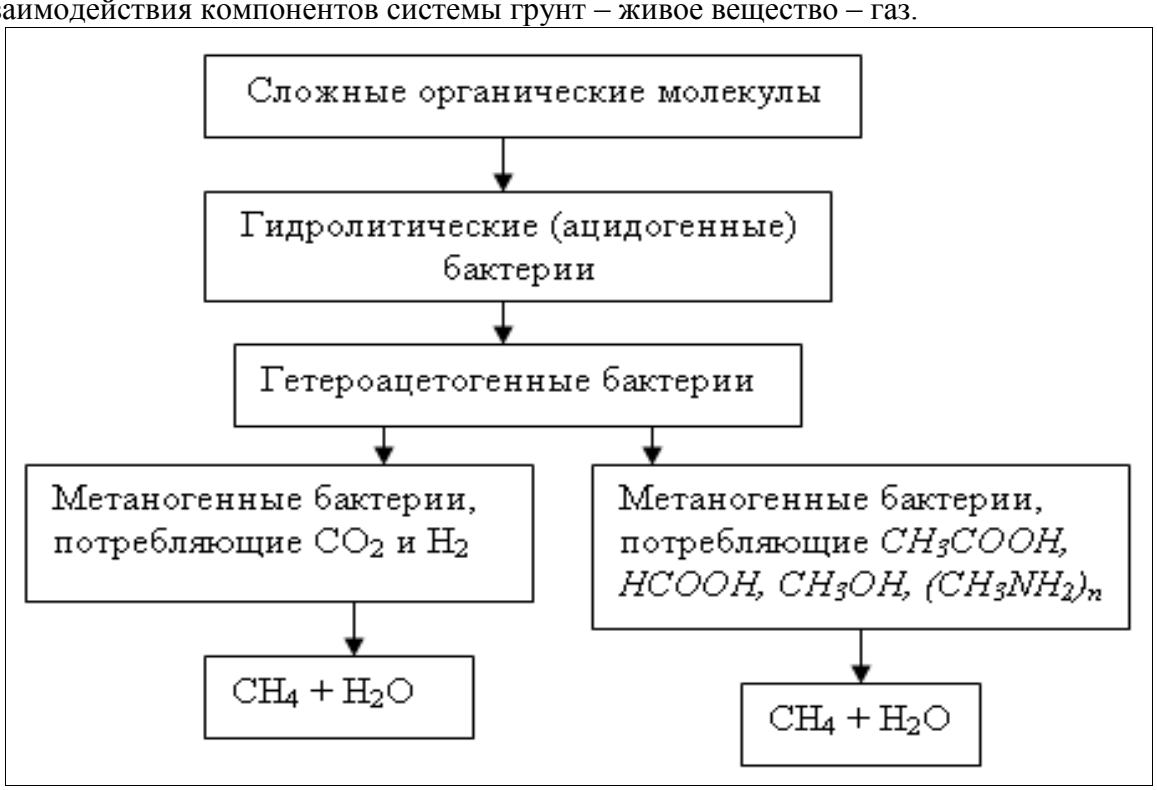

Рисунок. Схема бактериальных сукцессий при анаэробной биодеградации органической части свалочных грунтов на полигонах.

Геологическое тело полигона ТБО в связи с особым составом грунта имеет четко определенные границы и искусственно созданный сплошной абсолютный водоупор (уплотненная суглинистая порода или композитный (многослойный) синтетический экран), вследствие этого в ограниченном объеме тела полигона формируются особые (отличные от окружающих эколого-геологических систем) гидрогеологические условия.

Свалочный грунт по своему отношению к воде может быть отнесен к группе коллекторов, легко пропускающих через себя воду и неспособных ее удержать при открытых внешних границах. Количественным критерием оценки степени водопроницаемости пород (грунта) является коэффициент фильтрации. Критерием

возможностей грунта принимать и отдавать воду служит коэффициент водоотдачи по которому свалочные грунт можно отнести к группе хорошо отдающих воду.

При сопоставлении свалочного грунта и природных горных пород возникают некоторые сложности, связанные с быстрым изменением во времени фильтрационных свойств смешанных бытовых отходов, в связи с тем, что мусор на полигоне обладает свойством слеживаемости (за первые 5 лет примерно на 25%). Данный процесс происходит за счет наличия большого количества «пустотных» отходов (пластиковая тара) которые за счет давления вышележащих масс теряют свою стабильность, кроме того в составе ТБО большое количество легко биодеградируемых органических веществ, которые в следствии процесса биогеохимического разложения теряют свою структуру и тем самым уменьшают коэффициент фильтрации свалочных грунтов (свежие отходы – более 5 м/сут, разложившийся свалочный грунт по фильтрационным параметрам близок к глинистым породам – около 10^{-4} м/сут).

Основными единицами гидрогеологической стратификации по мере укрупнения изучаемых объектов являются: слой, горизонт, комплекс. Тело полигона состоит из грунта, характеризующегося определенной степенью однородности состава, а также фильтрационных и емкостных свойств. Поэтому геологическое тело полигона можно определить как единый водоносный слой, составляющих водоносный горизонт с общностью условий формирования, движения и разгрузки подземных вод; ограниченный сверху зоной аэрации, а снизу искусственным водоупором.

В связи с неоднородностью и разнообразием состава твердой и газообразной компонент свалочного грунта физико-химические характеристики выщелачивающего раствора масс смешанных ТБО, не дают возможности сравнивать ее с природными растворами. Источником образования жидкой фазы свалочного грунта являются три процесса: инфильтрация атмосферных осадков (60%), отжим влаги из твердых компонент (в основном органического происхождения) за счет давления вышележащих слоев грунта (30%), а также биогеохимические процессы разложения, одним из продуктов которого является вода (10%). Количественное содержание жидкой компоненты (весовая влажность) в свалочных грунтах Санкт-Петербурга и Ленинградской области составляет около 50-55% [16].

Грунтовые воды полигонов ТБО обычно заполняют водопроницаемый пласт (масса смешанного свалочного грунта) не на полную мощность, поэтому поверхность грунтовых вод является свободной. Области питания и распространения грунтовых вод совпадают. Вследствие этого условия формирования и режим грунтовых вод обладают характерными особенностями, отличающими их от более глубоких напорных артезианских вод (чувствительны ко всем атмосферным изменениям), но сопоставимыми с природными грунтовыми водами. В зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков поверхность грунтовых вод испытывает сезонные колебания (в сухое время года она понижается, во влажное – повышается), изменяются также дебит, химический состав и температура грунтовых вод. Кроме того, на химический состав подземных вод полигонов оказывает влияние еще и интенсивность биогеохимических процессов трансформации органоминерального субстрата.

Вода жидкой компоненты, находящаяся в свалочных грунтах, энергетически неоднородна. Можно выделить три основных категории вод: связанная, переходного типа и свободная [26]

Основными компонентами жидкой фазы свалочного грунта являются органические вещества, хлориды, сульфаты, тяжелые металлы и металлоиды (Fe, Mg, Mn, Zn, Cr, Co, Pb, As, Cu, Ni, Hg и др.) и различные их производные (формы нахождения и миграции) [15]. В этой среде создаются наиболее благоприятные условия для образования комплексных соединений с металлами, присутствующими в отходах, возможного

перевода их в растворимые формы и миграции с водными потоками в окружающую среду.

Основными источниками всего многообразия химических соединений в жидкой фазе свалочного грунта являются биогеохимическая трансформация органического вещества и процесс растворения. Второй из них, как правило, не имеет корреляции с возрастом техногенного грунта, но напрямую связан с сезоном года (среднесуточной температурой).

Процесс разложения органической фракции на полигонах не однороден и его этапы оказывают прямое воздействие на химический состав подземных вод полигона. Выделяют три основные фазы (стадии), которые определяются пищевыми потребностями преобладающей бактериальной популяции: гидролитическая (ацидофикация), гетероацетогенная и метаногенная стадии [25].

Каждая из выделяемых стадий характеризуется своим комплексом биогеохимических процессов и, следовательно, своим составом жидкой компоненты свалочного грунта. На практике гетероацетогенная стадия является переходной и непродолжительной, маркерные микроорганизмы существуют в малом количестве и объеме и не оказывают существенного влияния на физико-химические свойства фильтрата. Таким образом, в эволюционном развитии современного геологического тела – полигона ТБО – по качественному и количественному составу наиболее мобильной фазы (жидкой) можно выделить две стадии развития, условно названные «молодая» и «старая» (табл. 5).

Таблица 5. Усредненный химический состав проб жидкой фазы свалочного грунта разного возраста полигонов Ленинградской области.

Показатель	**Единица измерения**	**«Молодой» фильтрат**	**«Старый» фильтрат (более 10 лет)**
pH	--	6 - 7	7 – 8,5
$БПК_5$	мг O_2/л	15000	200
ХПК	мг O_2/л	21000	2000
NH_4N	мг/л	900	900
Cl	мг/л	2000	2000
Na	мг/л	1500	1500
Ca	мг/л	1200	100
SO_4	мг/л	500	710
Фенолы	мг/л	0,01 – 350	
Углеводы	мг/л	0,1 – 424	
Галогенсодержащие ор. в-ва	мг/л	0, 044-292	

Высокие концентрации органических веществ (ХПК 21000 мг O_2/л) и кислотность среды (pH около 6) обеспечивают большую подвижность и токсичность находящихся в растворе тяжелых металлов, таким образом жидкая компонента свалочного грунта возрастом до 10 лет является наиболее опасной в экологическом плане для окружающей природной среды.

Для более точного описания поведения фильтрата в окружающей среде необходимо дать анализ форм нахождения наиболее характерных токсикантов свалочных грунтов – тяжелых металлов. Различают три основные формы миграции вещества: истинно-

растворенную, коллоидную и взвешенную. Отличаются они преимущественно размерами частиц.

Истинно-растворенная форма присуща неэлектролитам и электролитам. В форме незаряженных частиц (молекулы) мигрируют главным образом органические соединения и многие растворенные газы [11]. В растворах электролитов вещество частично или полностью находится в виде ионов. С ростом концентрации растворенного вещества количество свободных ионов уменьшается за счет роста количества ионных пар и образования комплексных соединений. Растворимость комплексов обычно значительна, поэтому оно существенно расширяет диапазон водной миграции. При этом чем устойчивее комплексное соединение, тем слабее его гидролизуемость и, следовательно, выше его миграционная способность в водах [27].

Особое место среди рассматриваемых соединений занимают хелаты металлов с органическими аддендами. Образование комплексов такого типа характерно для *Fe, Zn, Mn,* Cu и многих других. Многие хелаты сравнительно хорошо растворимы в воде, что повышает миграционную активность ряда металлов.

На стадии метанового разложения органических веществ формируются благоприятные условия для возникновения коллоидных систем (слабо щелочная среда, высокая концентрация раствора, повышенная температура, наличие свободной угольной кислоты и т.д.). Наиболее типично коллоидное состояние для следующих тяжелых металлов фильтрата ТБО – *Zn, Cu, Ni, Cr, Cd, Pb*. Коллоиды многих элементов имеют повышенную растворимость, кроме того, явление сорбции и обменной адсорбции, присущие коллоидам, приводят к перемещению (миграции) ряда химических элементов в сорбированном виде (*Zn, Cu, Pb*).

Миграции вещества в виде взвесей характерна преимущественно для поверхностных вод и не оказывает существенного влияния на миграционную активность тяжелых металлов в свалочных грунтах.

Процессами, препятствующими переносу элементов, являются осаждение и адсорбция. По исследованиям некоторых авторов видно (табл. 6), что адсорбция и осаждение относятся к основным геохимическим процессам, определяющим распределение металлов в системе раствор – грунт.

Таблица 6. Действие основных механизмов истощения компонентов раствора фильтрата [12]

Компонент жидкой фазы	**Основной механизм истощения**	**Подвижность в глинистой среде**
Мышьяк	Осаждение, адсорбция	Умеренная
Кадмий	Осаждение, адсорбция	Умеренная
Медь	Адсорбция, обмен, осаждение	Низкая
Железо	Осаждение, обмен, адсорбция	Умеренная
Свинец	Адсорбция, обмен, осаждение	Низкая
Марганец	Осаждение, обмен	Высокая
Ртуть	Адсорбция, осаждение	Высокая
Никель	Адсорбция, осаждение	Умеренная
Цинк	Адсорбция, обмен, осаждение	Низкая

«Равновесия» порода – вода, газ – вода и живые организмы – вода, являющиеся главными источниками вещества как природных, так и техногенных вод, обусловливают формирование сложного «равновесия» вода – растворенное вещество.

Главная экологическая задача при исследовании массивов свалочных грунтов – проведение моделирования контакта подземных вод полигона ТБО и природных эколого-геологических систем, для оценки экологического риска и расчета экологического ущерба [28, 29, 30]. Проследить путь и интенсивность миграции всех компонентов фильтрата нет возможности по причинам большого их количества и разнообразия форм нахождения. Поскольку поведение элементов (компонентов) в жидкой фазе свалочного грунта зависит от двух групп факторов: внутренних и внешних - миграцию каждого компонента можно рассматривать с учетом воздействия на него совокупности параметров, характеризующих среду миграции. Основными параметрами среды являются концентрация, pH – Eh, температура и давление. Для зоны гипергенеза последние два фактора обычно не учитывают, поскольку степень их возможной вариации имеет узкие интервалы.

Во времени жидкая компонента свалочного грунта претерпевает ряд последовательных изменений, что связано с направлением (этапом) биогеохмического разложения – деятельностью господствующей популяции микроорганизмов. По составу и свойствам можно выделить два основных этапа: ацидофикация («молодой» фильтрат) и метаногенез («старый» фильтрат).

Содержание тяжелых металлов в двух типах фильтрата заметно отличается. Эти различия объясняются количеством органических веществ в растворе и стадией ферментации. В течении первого этапа ацидофикации («молодой» фильтрат) металлы более растворимы (pH > 7 и связывание с ионами свободных карбоновых кислот). На стадии метаногенной ферментации («старый» фильтрат) кислот в растворе практически нет, pH < 7 и мало других соединений, способных удерживать металлы в растворенном состоянии (табл. 7). В результате концентрация ионов резко снижается, за исключением свинца, который образует очень устойчивые комплексы с гумусовыми кислотами [31].

Таблица 7. Содержание тяжелых металлов в жидкой фазе ТБО разного возраста (мг/л)

Металл	Стадия ацидофикации	Стадия метаногенеза
Fe	1120	40
Mn	53	0,24
Cd	0,01	0,02
Cu	0,65	0,2
Ni	1,04	0,4
Pb	0,17	1,0
Zn	54	1,6

Таким образом, с экологической точки зрения наиболее опасным для окружающей природной среды являются подземные воды полигона ТБО на первых этапах существования (при стандартном способе складирования – послойное уплотнение и пересыпка инертным грунтом – до 10 лет) [32].

Доказательством этого утверждения могут послужит результаты проведенного нами исследования последствий воздействия разлива жидкой фазы свалочного грунта на состояние компонентов окружающей природной среды (почвы и растения) в Ленинградской области.

На одном из полигонов, построенного без защитных сооружений, по данным космических снимков были установлены зоны возможного влияния жидкой фазы свалочного грунта (стадии ацидофикации) на окружающие эколого-геологические системы.

На исследуемой территории проводился сопряженный обор проб почв и произрастающих на них растений разных таксонов, корни и листья которых фиксировались в отдельности. Почвенные пробы отбирались дважды: в осенне-зимний и весенне-летний периоды, растения – только в период активной вегетации.

С позиции экогеологической оценки уровня загрязненности почв, особо значимым представляется, определение содержания в почвах тяжелых металлов, для которых установлены регламентированные показатели их ПДК в почвах (Mn, Zn, Cu, Cr, Pb, Ni). Полученные аналитические данные свидетельствовали, что концентрации указанных металлов на обследованных почвах, отобранных с прилегающих территорий полигона, заметно варьируют и в ряде случаев существенно превышают установленные значения ПДК (кроме, никеля), что количественно можно выразить в виде соответствующих коэффициентов – $К_{ПДК}$. Среди обследованных ТМ максимальные превышения концентраций над ПДК были установлены для цинка (977 ppm). На наиболее загрязненных участках содержание цинка в почве достигало 1,1-9,8 ПДК (110-977 ppm). На втором месте находится свинец – 1,1-6,2 ПДК (33-186 ppm), на третьем - медь с показателем до 1,5-1,9 ПДК (83-105 ppm) [29].

Полученные результаты сопоставимы с данными других исследователей, которые в качестве индикаторного показателя разгерметизации защитных сооружений полигонов рекомендуют использовать индексы повышения концентрации цинка в окружающей среде.

Анализ проб растительности, собранной на полигоне и прилегающей к нему территории, проводился на содержание в них тех же металлов, которые определялись в почвах (Mn, Pb, Cu, Zn, Cr, Ni). В качестве растительных объектов были выбраны наиболее представленые, естественно произрастающие на исследуемых территориях растения полыни, мать-и-мачехи, крапивы, иван-чая, пижмы. Была установлена хорошая положительная корреляция между присутствием повышенных концентраций таких токсичных металлов, как Pb, Cu, Zn, Cr, Ni в почвах полигонов и в растениях, прежде всего, в их корнях. Так на наиболее загрязненном участке с концентрацией свинца 2549 мг/ кг почвы содержание этого металла в корнях полыни составило 498, а у крапивы – 277 мг/кг сухой биомассы. При этом КБН по Pb у полыни в системе почва/корень составил 0,2, указывая на высокую степень участия этого растения в биогеохимическом цикле металла, однако индекс его перехода в системе корень/побег был невелик, что свойственно поведению данного элемента в растениях, и составил 0,02. Отмечена очень высокая степень аккумуляции в корнях растений железа (до 27000 мг/кг у крапивы, 22800 – у мать-и-мачехи и 17800- у полыни), при этом индекс перехода Fe в побег также не превышал 0,02. Высокие уровни биоаккумуляции отмечены по хрому (50-100 мг/кг в корнях растений мать-и-мачехи и полыни при до 83-372 мг в почве) и по цинку – до 201-267 мг/кг у полыни при высоком индексе переноса Ni в побег, равном 0,1 [29].

Таким образом, свалочный грунт представляет реальную экологическую опасность для состояния окружающей природной среды.

Заключение

На сегодняшний день в мире и в России накоплено огромное количество свалочного грунта разного возраста. Он занимает обширные территории (как правило вблизи городов) и оказывает существенное влияние на состояние компонентов окружающей природной среды. Таким образом, изучение качественных, количественных и динамических характеристик свалочных масс имеет огромное экологическое и прикладное значение.

Полигон (тело свалки) представляет собой современное геологическое тело, сложенное техногенным грунтом, основным отличием которого от природных объектов является скорость формировании, состав и динамические характеристики процесса биогеохимического разложения. Закрытый полигон (прекративший работу) есть скопление «осадка», преобразующегося в осадочную горную породу. Проходя стадию диагенеза, протекающую в виде процесса растворения веществ и минерализации органической составляющей, полигон оказывает негативное влияние на окружающие эколого-геологические системы.

Основными направлениями экологического воздействия полигона являются образование и распространение биогаза и жидкой компоненты в природные системы. Главными поллютантами жидкой фазы являются тяжелые металлы и их соединения.

Проведенные нами предварительные математические расчеты, основанные на учете координационных чисел ионов ТМ и сведений о насыщенности растворов возможными лигандами, позволяют говорить о вероятной полной координации всех присутствующих в фильтрате полигона ионов металлов с образованием наиболее устойчивых комплексных соединений с органическими кислотами.

В связи с повышенной миграционной активностью органометальных соединений и их токсичностью системы экологического контроля и мониторинга компонентов окружающей среды полигонов ТБО должны базироваться не только на регистрации протечек жидкой фазы, но и на учете состояния наиболее чувствительной части экосистем – биологических объектах. Индикаторами распространения токсикантов могут быть, например, различные группы микромицетов (водных и почвенных) четко и быстро реагирующих на превышение фоновых концентраций маркирующих веществ (элементов) жидкой фазы (соединений цинка и меди).

Для оценки влияния газовой компоненты свалочного грунта на природную среду возможно использовать микробиологические показатели – количественные характеристики популяции метанотрофных бактерий [33].

Настоящие методы просты в применении и дешевы в использовании. Они представляют комплексную оценку состояния процессов, протекающих в массе свалочного грунта и компонентов окружающей полигон среды. Кроме того, на основании описанных показателей можно проводить более точную и оперативную оценку экологического ущерба, чем на основе математических, количественных показателях воздействия (концентрациях, коэффициентах концентраций, объеме разлившегося фильтрата и т.д.), а также проводить оценку ассимиляционного потенциала территорий перспективного строительства полигонов ТБО.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2007 году». Департамент природных ресурсов по Северо-Западному региону. СПб.: «Андреевский» 2008 г. **2**. Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 26 сентября 2002 г. N 50. «Об основных направлениях политики Санкт-Петербурга в области охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности на период с 2003 по 2007 год». **3.** Обращение с отходами производства и потребления – [электронный ресурс] - http://www.lenobl.ru/economics/ecology/waste 10.11.2008 г. **4.** ГОСТ 30772-2001 «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения». Введен в действие в 1 июня 2002 года Постановлением Госкомитета РФ по стандартизации и метрологии от 28.12.01 №607-ст. **5.** Федеральный классификационный каталог отходов, утверждённый приказом МПР России от 02.12.2002 N 786, зарегистрированный Минюстом России 09.01.2003 №4107. **6.** Грунтоведение. Под ред. В.Т. Трофимова. М.: «Наука», 2005 г. С. 14. **7**. Геологический словарь. Том 2. М.: «Недра», 1973 г. **8.** Методика исследования свойств твердых отбросов. Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. М.: «Стройиздат» 1970 г. **9**. Систер В.Г., Мирный А.Н. Современные технологии обезвреживания и утилизации ТБО. М.: Академии коммунального хозяйства им. А.М.Памфилова, 2003 г. **10.** Дарулис П.В. Отходы областного города. Сбор и утилизация. - Смоленск: Смядынь, 2000 г. **11.** Самарина В.С. Гидрогеохимия. Учебное пособие. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1977 г. **12.** Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования ТБО. Новосибирск, 2005 г. **13**. Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. – М.: Колос, 1977 г. **14**. Фролов В.Т. Литология. Т. 1. М.: Изд-во МГУ, 1993 г. **15**. Артемов Н.И., Середа Т.Г., Костарев С.Н., Низамутдинов О.Б."Технологии автоматизированного управления полигоном захоронения твердых бытовых отходов" – Пермь, Научно-исследовательский институт управляющих машин и систем, 2003 г. **16.** Подлипский И.И., Куриленко В.В. Исследование химического состава БО для моделирования активной продукции жидких и газообразных веществ разложения. / Тезисы конференции «Месторождения природного и техногенного минерального сырья: геология, экологическая геология, менеджмент». Воронеж 12-16 ноября 2007 г. **17.** Карюхина Т.А., Чубанова И.Н. Химия воды и микробиология. – М.: Стройиздат, 1974. **18.** Методика расчета количественных характеристик выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от полигонов ТБ и ПО. М., 2004 г. **19**. Подлипский И.И., Куриленко В.В. Изучение параметров вероятности самовозгорания отходов на полигонах ТБО. Международная научно-практическая конференция по проблемам снижения природных опасностей и рисков (Геориск-2009). М.: 2009 г. **20.** Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера.– М. Наука, 1989 г. **21**. Подлипский И.И., Куриленко В.В. Полигоны бытовых отходов как современные природоохранные объекты. / Материалы X межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб. 2009 г. С. 44-55. **22**. В.А. Терехова Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем. М.: «Наука», 2007 г. **23**. Мишустин Е.Н., Емцев В.Т. Микробиология. М.: Агропроиздат, 1987 г. **24.** Болотина И.Н. Физико-химические явления с участием биотического компонента // Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. / Под ред. Е.М. Сергеева. М.: «Недра», 1985 г. с. 65-70 **25**. Экологическая биотехнология. Пер. с англ. В.А. Дымишца; Под ред. К.Ф. Форстера и Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990 г. **26.** Злочевская Р.И., Королев В.А. Электроповерхностные явления в глинистых породах. М.: Изд-во МГУ, 1988 г. **27.** Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. М.: «Недра», 1973 г. **28.** Подлипский И.И., Куриленко В.В. Разработка методики

мониторинга масс смешанных ТБО (на полигонах) как органоминеральной массы / Тезисы VII Международного семинара «Геология, геоэкология и эволюционная география». 21-22 декабря 2007 г. **29.** Подлипский И.И., Куриленко В.В. Мониторинг загрязнений почвенного покрова санитарно-защитной зоны полигона ТБО. / Тезисы IV международного совещания «Геохимия биосферы» Новороссийск май-июнь 2007 г. **30.** Подлипский И.И., Куриленко В.В. Изучение миграции тяжелых металлов в свалочных грунтах. / Материалы X межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб. 2009 г. С. 240-242. **31**. Полянский Н.Г. Аналитическая химия свинца. М. 1986 г. **32**. Подлипский И.И., Куриленко В.В. Определение маркерного показателя разлива жидкой фазы полигона ТБО. / Материалы IX межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования». СПб. 2008 г. **33**. Труды Института микробиологии им. С.Н. Виноградского. М.: «Наука», 2006 г.

Выходные данные: Вестник СПбГУ, Сер. 7, 2010, вып. 1. с. 15-31